

如何利用 MEMS 时钟技术优化 平板电脑和其他便携式产品的设计

iPad,iPHONE 和 Andriod 智能手机等产品的迅速普及，虽然为消费电子产商带来了新的商机，但也促使了便携式产品市场更加激烈的竞争。为了有效的吸引消费者，电子产商必须缩短新产品开发周期以便更快的提升产品功能和性能，不断的降低成本并推出更为诱人的外观设计。

便携式电主产品市场其高度竞争的环境，为其设计以及供应链管理等从业人员带来诸多不可忽视的挑战；诸如：

- 这类便携式产品对于外观设计越薄越小的要求；取决于使用零件是否能持续在封装方面；在尺寸以及厚度上，能否越来越小跟越薄。
- 新设计 Time-To-Market 是该产品是否成功的关键；因此该产品设计时所采用的零件，是否具备符合产品设计变更、解决设计问题上的弹性至关重要。
- 便携式产品对耐用性上的要求对零件的在不同温度和工作环境内中的可靠性，特别是抗冲击及抗振性上提出了更高的要求。
- 这类装置的需求，与季节性需求关连甚大；因此，所采用零组件在供货弹性上的能力，将成为厂商是否能尽量避免物料短缺或降低库存压力及风险，同时满足市场需求变化的关键因素。

简介 全硅 MEMS 振荡器

如果说微处理器以及系统集成芯片(SoC)是电子系统的大脑，那时钟或频率零组件则可被视为该产品的心脏。一般便携系统设计上，通常会用到数个时钟零器件。

传统的石英振荡器在时钟市场中长久以来扮演主要的脚色。然而，技术永远在不断的更新。以微机电(MEMS)为核心的时钟零器件，因其在性能，功能，成本和供货期上的优点及灵活性，以在快速的取代传统的石英组件，协助电子特别是便携式消费电子供应商有效的面对和解决市场中快速变化所带来的各项设计以及经营上的挑战。

MEMS 零组件涵盖了谐振器、振荡器以及时钟发生器(Clock Generator) ， 而 MEMS 振荡器在电路应用中可作为单一频率器件或者频率参考源。典型的电子电路系统，一般可能使用 3 到 5 颗时钟零件，该类零组件所使用数量会随系统设计的复杂度而增加。

如图 1 所示, 典型的 MEMS 振荡器为一内含单晶硅 MEMS 谐振体的全硅芯片，利用堆栈封装方式，安装在一高效能的模拟 CMOS 振荡 IC 之上。

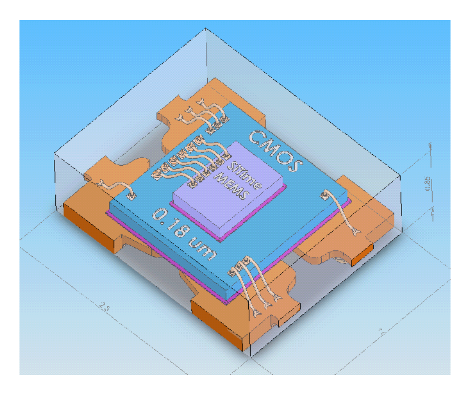


图 1:将 MEMS 谐振体晶元以及模拟 CMOS 振荡晶元堆栈封装而成的一 典型全硅 MEMS

两颗 IC 被一起塑封进 QFN 封装。封装尺寸以及焊接点与传统标准石英振荡器 100%完全兼容一致。在设计以及生产方面，系统设计人员无须变更任何 PCB 设计，直接采用 MEMS 振荡器取代传统石英

与传统石英振荡器相比，由于其平台的可编程功能，MEMS 振荡器可支持各种工作电压、频率、精度、以及尺寸的规格组合，且保持最佳工作效能，避免了过去因石英仅仅提供有限的频率零组件规格组合，而局限了设计人员的在系统设计优化方面的设计能力。这个可编程特性使得 MEMS 振荡器可快速为平板计算机设计人员及生产系统厂商提供其需要的正确规格产品，并协助其产品整体设计达到最佳优化程度；而不需在其他如交货周期、质量、及可靠性方面的牺牲。

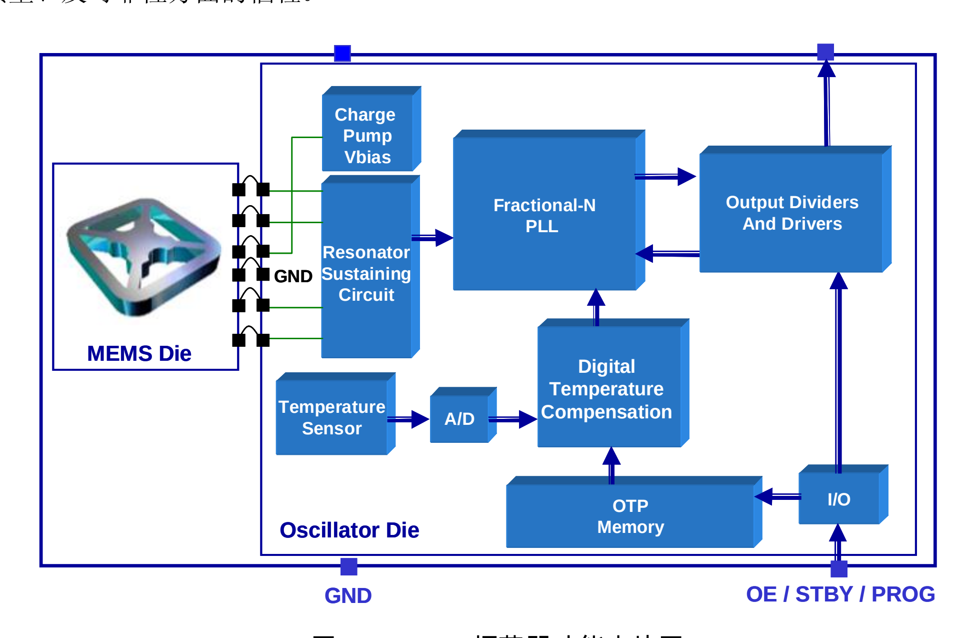


图 2：MEMS 振荡器功能方块图



藉由为数可观的半导体制造以及封装产业的供应链，MEMS 时钟零件供货商可持续并快速的创新其技术及产品。这些 MEMS 时钟零件目前已可支持通讯技术级所需要的效能及功能，譬如：

- 符合 3G 网卡等无线网络应用所要求< 1ps RMS 的相位抖动指针
- 满足涵盖全部工作温度范围内，可达±0.1 PPM 的频率稳定性指针
- 适用于便携产品必须的低功耗规格(待机 2.5μA，正常工作状态 3.5mA)
- 卓越的 50000G 抗冲击及 70G 抗振测试，比石英强 10 倍
- 提供中心频率达六位小数点精度，并高达 800MHz 的频率信号输出

MEMS 时钟零组件目前几乎涵盖了绝大多数不同类别的振荡器，包括单端 LVCMOS 标准信号输出振荡器、 差分信号振荡器、低功耗振荡器、压控振荡器（VCXO）、压控温补振荡器（VCTCXO）、 温补振荡器(TCXO)、以及降低 EMI 干扰的展频振荡器等等。

完整的 MEMS 时钟产品组合使得 MEMS 时钟供应厂商能够提供给包括平板电脑的系统制造商优化的 One-Stop-Shopping 服务。以平板电脑为例，一般根据不同主芯片（AP 或 SOC）平台和所支持的功能会采用到数个低电压，单端 LVCMOS 输出的振荡器. 以平板电脑为例，一般根据不同主芯片（AP 或 SOC）平台和所支持的功能会采用到数个低电压，单端 LVCMOS 输出的振荡器。

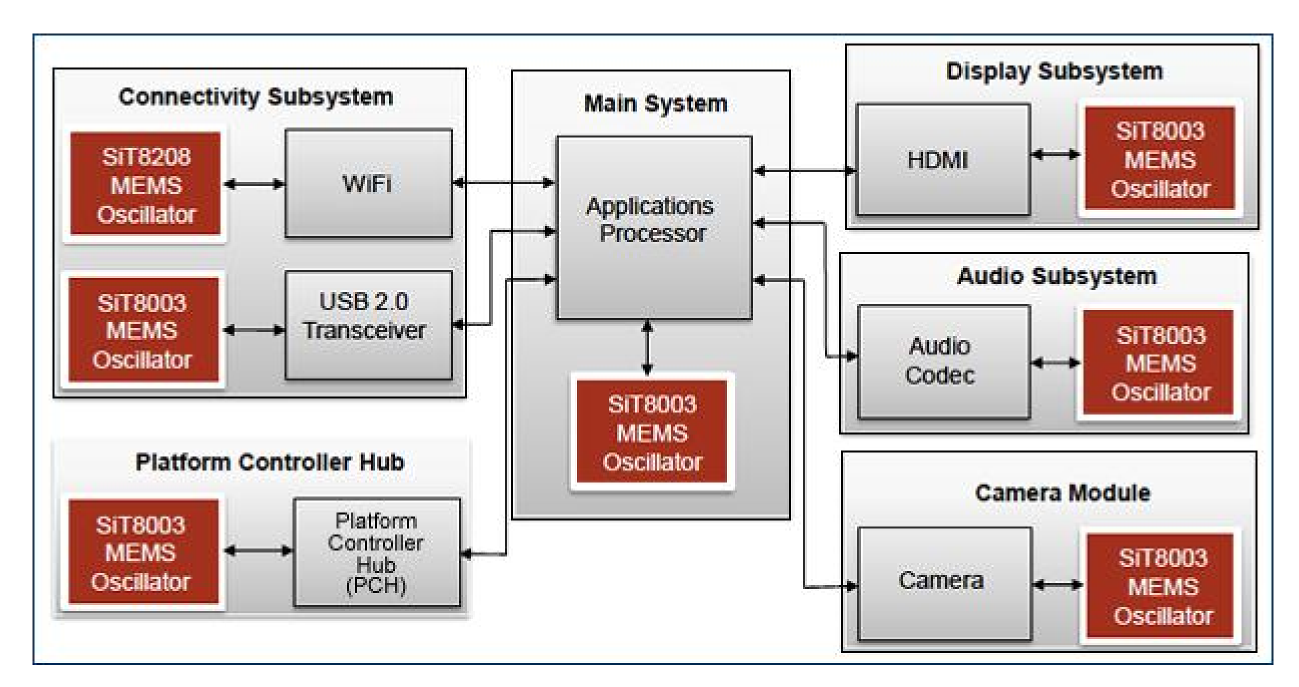


图 3：MEMS 振荡器在平板计算机内的应用

而 SiTime 利用低功耗振的 SiT8003 和低抖动的 SiT8208 二个系列 MEMS 振荡器就可满足平板电脑设计中所需的所有时钟需求。

表 1： MEMS 振荡器针对平板电脑的方案

应用	SiTime 推荐振荡器	主要规格和性能
应用芯片(AP 或 SOC)	SiT8003AC-12-18S-26.00000	26MHz, ±25PPM, 1.8V, 2.5μA 待机电流, 2.5x2.0mm 封装
WiFi	SiT8208AC-21-25S-40.00000	40MHz, ±20PPM, 2.5V, 3.2x2.5mm 封装
USB 2.0	SiT8003AC-12-18S-26.00000	26MHz, ±25PPM, 1.8V, 2.5μA 待机电流, 2.5x2.0mm 封装
Platform Controller Hub	SiT8003AC-13-33S-14.31800	14.318MHz, ±50PPM, 3.3V, 2.5μA 待机电流, 2.5x2.0mm 封装
HDMI	SiT8003AC-13-33S-22.57920	22.5792MHz, ±50PPM, 3.3V, 2.5μA 待机电流, 2.5x2.0mm 封装
Audio Codec	SiT8003AC-13-33S-24.57600	24.576MHz, ±50PPM, 3.3V, 2.5μA 待机电流, 2.5x2.0mm 封装
Camera Module	SiT8003AC-13-33S-27.00000	27MHz, ±50PPM, 3.3V, 2.5μA 待机电流, 2.5x2.0mm 封装

SiT8003 和 SiT8208 也可通过编程方式灵活的对规格做克制化，以满坐不同平板电脑平台的需求。

- 支持最宽的频率范围（1 至 220 MHz），精度达小数点后 6 位
- 介于 1.8V 和 3.3V 之间的运行电压支持所有平板电脑和其它便携产品 SOC（片上系统）、 ASIC（专用集成电路）和 Application Processor (应用芯片），并可消除电平转换。
- 2520, 3225, 5032 and 7050 等四个标准封装
- SoftEdge™ 可配置式上升/下降时间控件可改进走线阻抗匹配并减少电磁干扰。

MEMS 振荡器的可编程功能保证了最快速的 Time-To-Market 需求

MEMS 振荡器主要以可编程平台为设计基础，使得系统设计者可依其实际真实需求来客至化准确的规格，并解决一些设计上的问题，让产品快速进入市场。其中一个例子的应用是利用可编程功能改变振荡器输出信号的上升缘及下降缘，来改善或者解决系统所隐含的 EMI 问题。

一个典型的便携式产品如平板电脑一般包含了无线传输的子系统以及一些模拟数字混合电路设计。一般情况下，如果 PCB 布线未能设计优化；这类电路所衍生的谐波通常在设计中成为未可预期 EMI 干扰的来源或主要因素，并对无线射频信号以及无线数据传输子系统造成严重干扰。这些干扰将使得射频信号质量变得较为恶劣，并降低透过无线方式传递的数据传输量，甚至导致无法透过无线方式链接。

传统上，设计人员为降低对于这类由于频率信号谐波所产生的 EMI 干扰，通常采用重新设计系统板子布线，或者外加屏蔽金属壳；两种方式均颇为昂贵，并容易导致产品上市之延迟。现在，藉由可编程 MEMS 振荡器，设计者极可能仅采用调整频率信号的上升以及下降缘的参数，而完全解决这类 EMI 所造成的问题。

便携式产品一般采用单端 CMOS 输出振荡器。一般这类产品有的 EMI 问题，通常来自于时钟频率信号，以及该信号的谐波。而降低该频率信号的上升/下降缘通常为一个可行且有效的方法，且该方法也不至于带来像是增加功耗或增加周边更多零器件等负面影响。

图 4，显示三种不同上升/下降缘速度的时钟频率信号波形。图 5，则显示以 50MHz 为中心频率时，该频率的谐波信号与上升/下降缘时间之间的函数关系 （假设上升缘时间与下降缘时间一致）。所有上升缘时间是以信号峰对峰值时的最大值做定义。

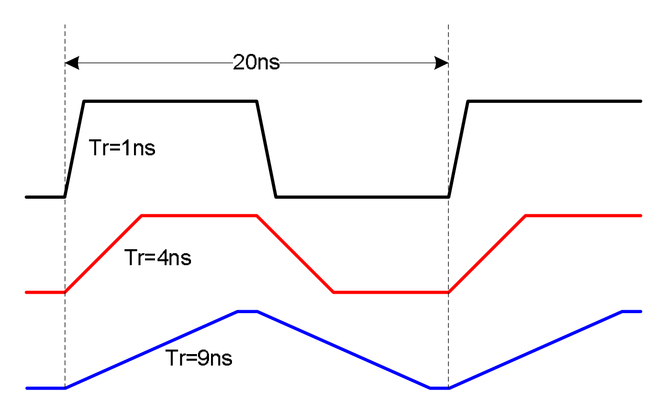


图 4：三种不同上升/下降缘时间的 50MHz 频率信号波形

如图 5 所示，当时钟信号维持峰对峰值时，相较于 1 奈秒(ns)上升/下降缘速度，若该速度调整为 9 奈秒(ns)，则绝大多数的谐波信号被降低了 20dB 或更多。这种，因为调整上升/下降缘速度，而降低因谐波所导致的 EMI，并让平板计算机设计人员去除因 EMI 因素所导致对无线传输子系统的干扰；而无须重新设计系统， 或增加昂贵的屏蔽零组件。

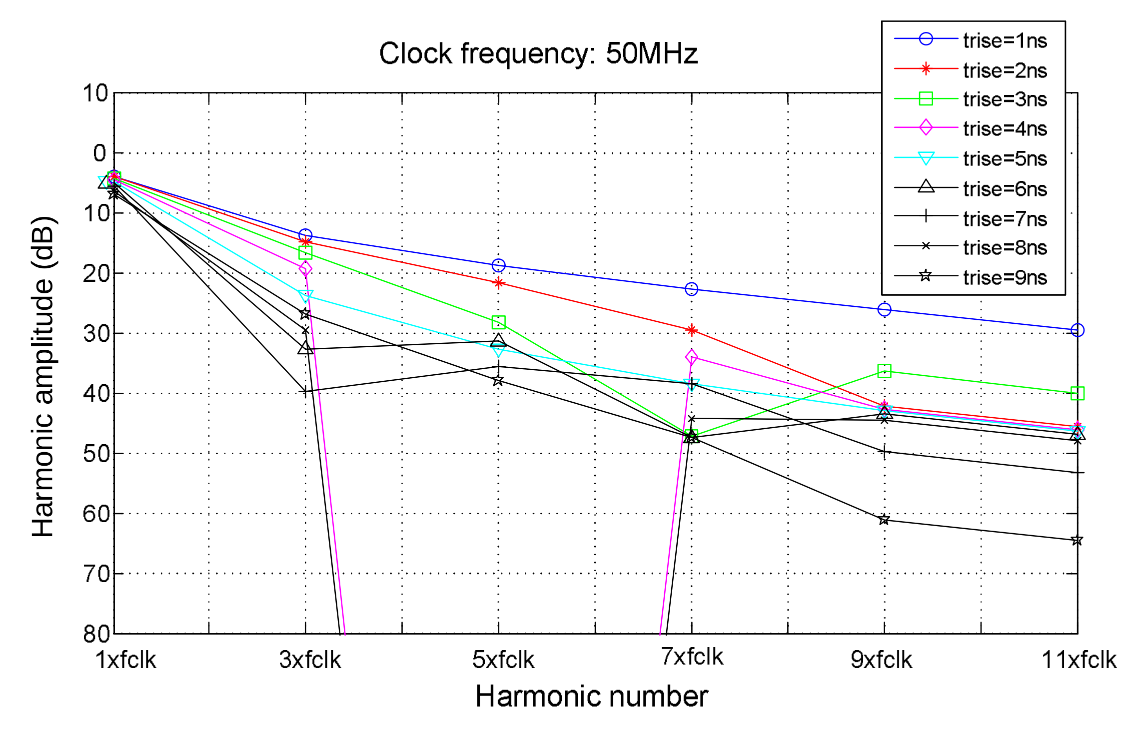


图 5：当上升/下降时间放缓时，时钟信号的谐波强度相对降低的程度

相反的，石英振荡器則不具備這種提供較緩上升/下降緣時間的可編程特性。使用這類缺乏設計彈性的固定頻率石英頻率零組件時，設計人員一般需要尋求一些其他較為昂貴、而且耗時的方案，以解決這類型 EMI 干擾問題。這是一般傳統石英零組件在本質上所 存在的限制。



更薄、更唯美的平板電腦以及電子書

便携式產品，如平板電腦等，由於其面向超薄且整合更多功能的設計趋势，其對於零組件供应商在減小零組件尺寸以及高度方面的要求也在持续不断增加中。

而在降低零組件厚度要求這方面，對石英振荡器的供應商而言成為一特別困難的挑戰；因為在一些頻率上石英必須具備一定的厚度、特別是越低頻率的石英，需要被切割研磨的厚度越厚，而由於成本方面的考量，絕大部分平板電腦系統設計上均使用較低頻率的零組件；這使得設計人員在採用石英這類零器件時，將面临兩难抉择。

表 2：不同振荡器的厚度

石英振荡器	典型 MEMS 振荡器	SiTime SiT8003XT
1.4 mm	0.75 mm	0.25 mm

典型的 MEMS 振荡器一般僅僅為石英振荡器厚度的一半。然而，在 MEMS 振荡器內部，如果將 MEMS 諧振器 IC 採用平面方式與搭配的高效能類比 CMOS 起振 IC 封裝、而不採用堆疊方式，則該 MEMS 振荡器則能達到僅 0.25㎜ 的超薄厚度。(如圖 6)

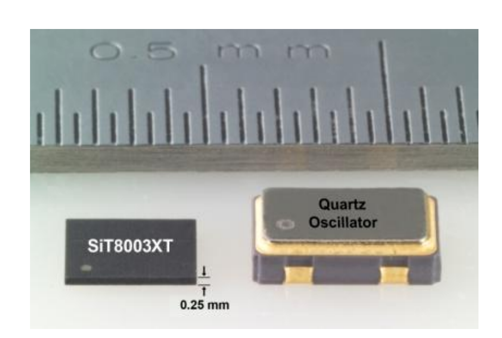


图 6：一超薄、仅 0.25mm 的 MEMS 振荡器与一般石英振荡器之比较

这种超薄振荡器不仅仅可使得系统设计人员实现各类不同的超薄终端产品，譬如无线支付卡，(这类支付卡一般亦可应用于像平板计算机之类便携式产品的扩充卡)；进而免除了因传统石英等频率零组件造成系统设计人员设计产品时的高度限制。

最短交货期，较好的库存管理

当设计人员集中大部分精力在零组件的效能以及功能上的同时，供应链管理者则更关心会影响该公司营业额和产品成本，以及是否零件厂商是否能顺利交货这些因素。

便携消费类电子产品季节性需求变化极强，且许多产品如平板计算机仍在萌芽阶段，其变动性亦受消费者喜好及外在巨观经济环境好坏影响甚大，导致厂商对于市场需求以及销售数字预估的不确定性。



这造成了供应链管理人员面临两难的状况。一方面，为极大化公司营业额，他们必须保证公司有足够的库存以因应可能突然出现的需求颠峰；而另一方面，他们也必须小心翼翼的管理可能过多的库存及那些会直接影响公司利润的库存品成本，

类似这样的两难处境，举例而言，由于传统石英振荡器通常仅着重于一些标准频率以及一些标准品的制造跟贩卖，这样的经营特性限制了石英振荡器供货商仅针对标准品准备库存并对非标准品采接单生产（Build-to-order）运作模式。由于石英产品产业采近似俘虏似供应链（Captive Downstream Supply Chain） 的模式，石英振荡器内部分关键性零组件由少数几家供货商提供，这使得石英振荡器的交货期受这些关键零组件的影响甚巨。因此，当无现货或者库存品时，一般石英振荡器供货商通常仅能提供标准产品 6~8 周交货周期；而非标准品的交货周期则需延长到 8~16 周的承诺。

这样长的交货周期，使得便携产品制造商在处理持续进行的市场需求变动时面临严峻的挑战。这些厂商经常性的，或者需面对突如其来量产需求上的石英频率零组件的短缺，或者需处理可能因需求突然下降而导致的大量库存；并处理可能过时却无法使用的石英振荡器。这两种状况都会影响该公司在营业额以及利润双方面的营运绩效。因此，适当管理库存水位、控管成本、以及确保公司有能力对于突如其来的需求高峰提供服务等，对于平板计算机的供应链管理人员而言都是一持续挑战性的工作。

相对而言，MEMS 振荡器主要藉用半导体产业供应链及其高质量的量产流程（如图 7），因此可大幅度减短频率零组件的供货周期。

在半导体量产流程中，MEMS 振荡器供货商可利用晶圆库存(die bank) 方式，储存大量可编程的空白半成品零组件，作为缩短交货周期的手段。由于这些空白半成品零组件在最后出厂前利用编程方式完成各种规格组合，供货商完全无须担心库存呆料的风险。

利用这种量产方式流程，供货商可根据实际客户采购订单立即客制化其产线生产计划，并将不论任何频率、工作电压、精度、封装尺寸等不同规格组合的产品之交货周期缩短甚至到 2 周之内。

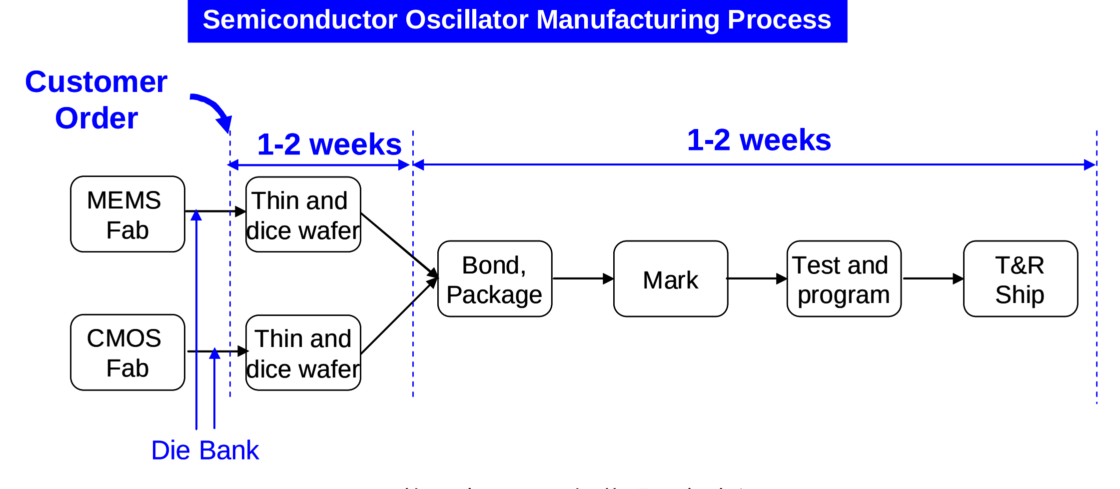


图 7：单晶硅 MEMS 振荡器量产流程。

作为防止供应链中断之风险多元化战略的 MEMS 振荡器

对便携产品 OEM 厂商来说，采用 MEMS 振荡器的好处不仅在于缩减交货周期以及优化供应链管理；共重要的是，在目前脆弱的全球供应链中，其代表了一种重要的风险分散的策略应用。

石英振荡器产业是由近乎一个俘虏式的供应链所组成。其中振荡器生产所需的两个关键零组件（陶瓷基座以及起振 IC），被 2~3 家来自生产基地在日本的供货商所主宰。这样高度集中且数量极少的供货商，并且其生产所在地域代表了对于供应链是否连续的高度风险。

相反的，MEMS 振荡器采用在生产地域、生产技术、量产供货商等方面完全与石英产业不同而以半导体为核心的供应链。MEMS 谐振器 IC 以及其搭配的模拟 CMOS 起振 IC 均使用标准 IC 晶圆生产工厂，而其使用的标准 IC 塑料封装在全球范围内则有多个供应制造商来源。MEMS 振荡器供货商亦利用全球各处不同半导体封装代工厂来提供封装、以及测试方面的生产服务。

由于供应体系的多样化及其不同的生产地域，使得 MEMS 振荡器供货商可以更有效地确保提供其客户连续并质优的产品物料。

从另一方面思考；对平板计算机厂商来说，除传统石英零组件之外，同时采用 MEMS 振荡器亦可缓解因任何一种生产技术产品短缺时所衍生的经营风险。

结论

对于便携产品生产厂商，MEMS 振荡器相对石英振荡器会带来许多的优势。这些优势包括较短的交货周期、更佳的库存管理能力、因应市场需求变动的持续可供货能力、以及当厂商面对新品设计时更轻、薄、小需求的持续改善方面提供更小、更薄、并能够快速量产(Time-To-Market)的服务。除此之外， 平板计算机厂商同时使用石英以及 MEMS 技术的时钟零组件时，亦可分散因不同产品短缺时的风险。

从系统设计的角度，MEMS 振荡器也可为系统厂商提供新的价值，以促动便携产品在功能，性能和耐用性上进一步提升。

- 2.5 x 2.0 mm 和 0.25 mm 超薄型封装振荡器可帮助便携产品的小型化和更薄的设计趋势。
- 平均无故障时间(MTBF)达 5 亿小时卓越的硅可靠性和比石英强 10 倍的 50000G 抗冲击及 70G 抗振能力可进一步提高便携产品的耐用性。
- 通过上升下降时间的调整来以最低成本，最快速度解决 EMI 问题。
- 优良的全温频率稳定度是便携产品在高低温环境中运作更稳定

SiTime Corporation, 990 Almanor Avenue, Sunnyvale, CA 94085 USA   Phone: +1-408-328-4400 www.sitime.com